ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ





Научная статья
УДК 504:351.77
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-36-42



Анализ и оценка безопасности при эксплуатации дробеструйного аппарата в литейном производстве

В. Я. Манохин[1], **Л. Ф. Дроздова**[2], **Е. И. Головина**[1], **Д. А. Соколов**[1]

[1]Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж, Российская Федерация)

[2]Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Введение. Рассмотрены вредные факторы литейного производства. Авторы проводят анализ и дают оценку рабочего места оператора дробеструйной камеры и предлагают технические решения для улучшения условий труда и снижения развития профессиональных заболеваний.

Постановка задачи. Задача данного исследования — дать оценку степени воздействия шумового и пылевого загрязнения на производственных участках литейного производства.

Теоретическая часть. В процессе исследования выявлены наиболее загрязненные участки с превышением допустимых значений рассматриваемых показателей уровня шума и содержания пыли, это участки выбивных решеток и очистки литья. Были предложены мероприятия по улучшению обстановки, такие как организация акустики с учетом особенностей производственного помещения (акустические экраны, звукоизолирующие перегородки), подходящая площадь звукопоглощения помещений, улучшение звукопоглощения путем модернизации корпуса дробеструйной камеры.

Выводы. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о достаточно высоком уровне влияния вредных производственных факторов на операторов дробеструйного участка литейного производства и о необходимости усиления охраны труда в рассматриваемой сфере.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, вибрация, пыль, литейное производство, производственный участок, дробеструйное оборудование, акустика.

Для цитирования: Анализ и оценка безопасности при эксплуатации дробеструйного аппарата в литейном производстве / В. Я. Манохин, Л. Ф. Дроздова, Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 36−42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-36-42

Original article

Analysis and assessment of safety during operation of the shot blasting machine in the foundry

V. Ya. Manokhin[1], **L. F. Drozdova**[2], **E. I. Golovina**[1], **D. A. Sokolov**[1]

[1]Voronezh State Technical University (Voronezh, Russian Federation)

[2]Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russian Federation)

Introduction. The article discusses the harmful factors of foundry production. The authors analyze and evaluate the workplace of the operator of the shot blasting chamber and offer technical solutions to improve working conditions and reduce the development of occupational diseases.

Problem Statement. The objective of this study is to assess the impact of noise and dust pollution on the production sites of the foundry.

Theoretical Part. In the course of the study, the most polluted areas were identified with the exceeding permissible values of the considered indicators of noise level and dust content. These are the areas of shake-out grids and casting cleaning. Measures to improve the situation were proposed, such as: organization of acoustics taking into account the characteristics of the production room (acoustic screens, soundproof partitions), a suitable sound absorption area of the premises, the improvement of sound absorption by upgrading the body of the shot blasting chamber.

Conclusions. The results of the analysis indicate a sufficiently high level of influence of harmful production factors on the operators of the shot blasting section of the foundry and the need to strengthen labor protection in this area.

Keywords: noise pollution, vibration, dust, foundry, production site, shot blasting equipment, acoustics.

For citation: Manokhin V. Ya., Drozdova L. F., Golovina E. I., Sokolov D. A. Analysis and assessment of safety during operation of the shot blasting machine in the foundry. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2022;2:36−42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-36-42

Введение. Рассмотрено воздействие негативных факторов на работников литейных предприятий. Воздушная среда рабочей зоны операторов литейных цехов часто не соответствует санитарно-гигиеническим нормам. Это обусловлено сложностью технологических процессов и наличием вредных факторов. Наибольшее количество пыли, шума и вибрации производит оборудование, которое используется для обработки и шлифовки изделий дробеструйным методом.

Процесс дробеструйной зачистки дает возможность шлифовки литейных заготовок разной формы, однако этому технологическому процессу сопутствует возникновение большого количества пыли, которая создает угрозу для здоровья работающих. Комплексный подход к снижению содержания пыли и предупреждению профессиональных заболеваний может поэтапно решить задачу по созданию безопасных условий труда [1].

Контроль допустимого уровня шума и вибрации на производстве является очень сложным и финансово затратным мероприятием. Повышенные шум и вибрация считаются теми экологическими факторами, добиться соответствия которых нормативным величинам технически весьма сложно [2]. Большое количество профессиональных заболеваний, связанных с нарушением слуха, проявляются у рабочих спустя продолжительное время работы. Развитие серьезных проблем со слуховым нервом зависит от технологических процессов, при которых уровень шума превышает допустимые значения. Наибольшее воздействие повышенного шума отмечается на участках формовщиков, выбивальщиков форм, обрубщиков и чистильщиков литья для массового производства, где значения индекса загрязнения достигают 1,43–2,74 [3]. Данные занесены в табл. 1.

Таблица 1

Значение индекса загрязнения по шумовому фактору
на участках литейных цехов с различным характером шума

№ п/п	Профессия	Индекс загрязнения по шумовому фактору, Кш	Количество рабочих мест
1	Формовщик	1,43	3
2	Выбивальщик	2,74	2
3	Обрубщик	2,46	3
4	Чистильщик литья	2,67	1
5	Заливщик металла	0,79	4
6	Плавильщик металлов и сплавов	0,79	4
7	Шихтовщик	0,22	1
8	Наладчик литейных машин	0,45	1
9	Земледел	0,71	2

Постановка задачи. Первоначальной задачей данного исследования был анализ экспериментальных характеристик шумового загрязнения.

Результаты исследований уровня шума показали, что шумовое загрязнение значительно превышает установленные нормы. Наибольшие превышения допустимых уровней звука отмечаются на рабочих местах у стержневых и формовочных встряхивающих машин на 12–23 дБ, у выбивных решеток — на 17–26 дБ, у обрубочно-очистного оборудования — на 16–27 дБ [3, 4].

В соответствии с санитарными нормами установлены значения допустимых уровней звукового давления (табл. 2) [5].

Звуковое поле в зоне рабочих зон литейных цехов неоднородно. Это связано с разными режимами и временем работы производственного оборудования. Наиболее опасным является периодический режим работы с излучением максимального уровня шума в области средних и высоких частот.

Таблица 2

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах, в производственных помещениях и на территории предприятий

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Литейные цеха серийного производства отличаются тем, что меньший уровень автоматизации и механизации процессов позволяют выбрать наиболее рациональное и изолированное положение оборудования. Из этого следует, что основные методы защиты работников заключаются в рациональном размещении оборудования, организации правильной акустики помещений, установке звукоизоляционных экранов и усовершенствовании корпусов дробеструйного оборудования [6].

Второй задачей исследования стала разработка мероприятий по минимизации запыленности и обеспечению безопасных условий труда на самых запыленных участках литейного производства — дробеструйных.

Специальные мероприятия по использованию непрерывной технологии производства удаляют пыль сразу в местах ее появления, также препятствуют образованию и распространению пыли механизация и автоматизация процессов, разработка, установка и настройка системы дистанционного управления, герметизация и изоляция оборудования, системы приточно-вытяжной и вытяжной вентиляции [7].

В литейном цехе запыленный воздух проходит через систему пылеуловителей и затем поступает в атмосферу. Однако эффективность таких систем не является достаточной [4].

Теоретическая часть. Одним из основных вопросов исследования — вопрос о характеристиках источников излучаемого шума и пыли на обрубочно-очистных участках, имеющих самый высокий уровень шумового загрязнения.

Одним из основных и самых часто используемых методов обработки поверхности металлических заготовок является дробеструйная зачистка. Такой метод позволяет наиболее качественно отшлифовать литье, проводится он в дробеструйной камере.

На рис. 1 представлена схема дробеструйного участка [7].

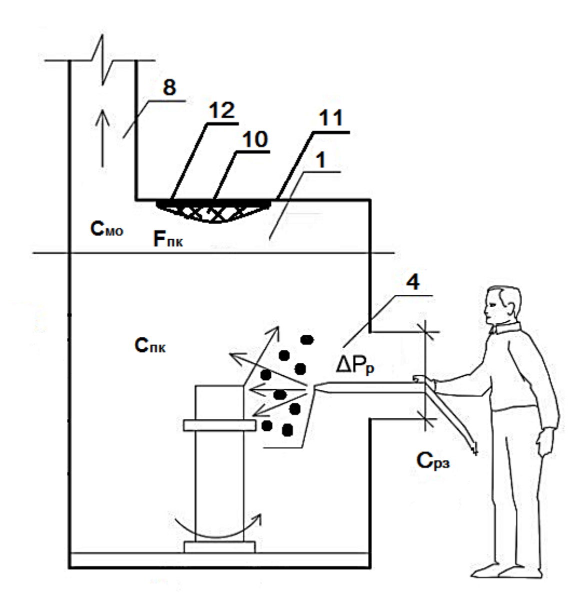


Рис. 1. Система дробеструйного участка литейного производства: 1 — дробеструйная камера; 2 — загрузочный сектор очищаемых деталей с герметичной дверцей; 3 — пульт управления; 4 — окно подачи дробеструйного аппарата; 5 — технологическое отверстие с герметичной крышкой для удаления дроби; 6 — магистраль сжатого воздуха; 7 — подача воздуха на форсунку; 8 — воздуховод; 9 — конический циклон очистки воздуха; 10 — ВДМ (вибродемпфирующий материал); 11 — конструкционный материал; 12 — ЗПМ (звукопоглощающий материал). Обозначения: Срз — концентрация в рабочей зоне, Спк — концентрация в пылевой камере, Смо — концентрация в местном отсосе, Fпк — площадь пылевой камеры, ΔPр — перепад давления при управлении

Дробеструйная очистка проходит в камере, которая представляет собой закрытую металлическую конструкцию размером 2000x2000x2500 мм, внутренняя поверхность ее выполнена из стального листа толщиной 3 мм и покрыта резиной толщиной 10 мм. В верхней части камера подсоединяется посредством патрубка диаметром 630 мм к местной вытяжной вентиляции, которая содержит циклон ЦН-11 [7].

Через окно подачи на поверхность изделия со скоростью 30 м/с попадает дробь, диаметр которой в среднем составляет 2 мм. Принцип действия простого нагнетательного дробеструйного аппарата основан на работе герметически закрываемого бака, в котором под давлением сжатого воздуха находится дробь. Под действием силы тяжести и давления сжатого воздуха дробь подается в камеру. При этом происходит извлечение шума повышенной интенсивности.

Размер запыленности в системе аспирации до пылеулавливающего оборудования составил около 6 г/м^3, в рабочей зоне — около 9 мг/м^3 [7]. Степень влияния пыли на здоровье человека зависит от ее гранулометрического состава. В легких в большей степени остаются частицы, размеры которых меньше 10 мкм. Класс опасности — 3, ПДК = 0,5 мг/м^3. Уровень загрязнения воздуха рабочей зоны формирует большое количество факторов, которые необходимо соблюдать. Это регулярный и качественный ремонт и обслуживание оборудования, создание эффективных режимов работы систем аспирации и оборудования для улавливания пыли [8].

Пыль после обработки поверхности металлических деталей дробью превращается в многокомпонентную, поэтому требуется разработка эффективных мер по очистке газовой пыли, в связи с этим исследование элементного и дисперсного составов частиц пыли считается актуальным. Для оценки частиц пыли по размеру использовался гранулометрический анализ [3]. Плотность распределения частиц и их размер влияют на свойства пылевидных материалов. Состав пыли был определен на лазерном анализаторе частиц фирмы Fritsch NanoTec, модель Analisette-22, с использованием программного обеспечения (ПО) Fritsch Mas control. Полученные данные отражены на рис. 2.

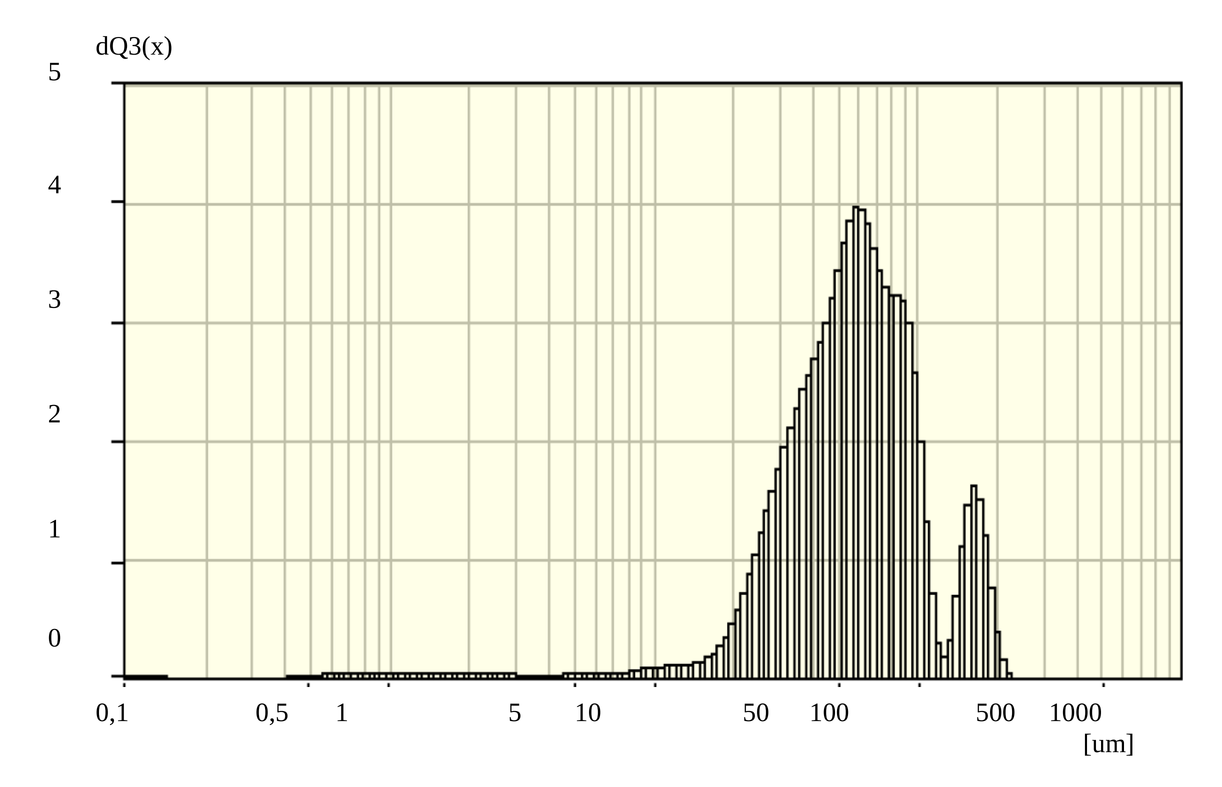


Рис. 2. Графические результаты дисперсного анализа пылевых частиц

Результаты оказались следующими: в составе пыли находится около 90 % мелко- и среднедисперсной пыли размером менее 100 мкм. Частицы подобного рода несут опасность для здоровья людей, есть риск возникновения пневмокониозов и силикозов.

Второй этап эксперимента был направлен на детализацию дисперсного состава пыли, он проводился методом рентгеноспектрального микроанализа [7].

Рентгеновский фазовый анализ является наиболее перспективным методом и отличается достоверностью и скоростью получения результатов, основан не на сравнение с доступными образцами, а на анализе кристаллической структуры вещества. Преимущества данного типа анализа заключаются в ненарушении целостности детали, оценке фаз в смеси, толерантности к объему исследуемого объекта.

Данные, полученные при проведении рентгеноспектрального анализа, показали, что пыль имеет форму, которую условно можно считать сферической. При оседании частицы пыли такой формы вращаются и занимают положение, при котором оказывают наибольшее сопротивление воздуху. Форма сферы способствует оседанию в пылеуловителях инерционного типа и в атмосфере. Более продолжительное время оседают частицы меньше 10 мкм, наличие таких частиц в воздухе свидетельствует о необходимости установки более эффективной системы доочистки воздуха.

Рентгеноспектральный анализ на волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре Bruker S8 Tiger в Центре коллективного пользования научным оборудованием (ЦКП НО) ВГУ позволил получить более точное количество содержащихся в образце элементов. С целью доочистки выброса до нормативных концентраций, равных предельно допустимым концентрациям вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДКр.з.), существующую систему пылеулавливания предлагается дополнить «мокрой» ступенью.

Основная причина возникновения сильного шума — особенности технологического процесса, при котором возникает аэродинамический шум. Для снижения шума подобного рода необходимо использовать методики улучшения аэродинамических характеристик оборудования.

Предложение авторов — за счет подбора звукоизолирующих и звукопоглощающих частей корпуса дробеструйного оборудования снизить уровень шумового загрязнения.

Экспериментальные исследования коэффициентов поглощения большого количества облицовочных материалов в октавных полосах спектра звуковых частот, представленные в работе [9], помогли выбрать наиболее эффективное сочетание конструкционного, звукопоглощающего и вибродемпфирующего материалов. Способы расчетов акустических характеристик материалов и оборудования помогли определить оптимальные параметры составных частей производственных машин.

Одно из предложений авторов заключается в сохранении толщины стенки из черного металла в дробеструйной камере, равной 3 мм (рис. 1, поз. 12), на которую наносится слой приклеенной резины толщиной

10 мм (рис. 1, поз. 10), что дает дополнительную звукоизоляцию стенок камеры. На внутреннюю поверхность камеры необходимо нанести звукопоглощающие материалы толщиной 30 мм, представляющие собой изделия, которые состоят из супертонких базальтовых волокон диаметром 1–3 микрона, скрепленных между собой в виде холста в оболочке из стеклянной ткани (рис. 1, поз. 12). Коэффициент звукопоглощения представленных материалов в средне-высокочастотном диапазоне составляет от 0,5 до 0,9. Звукоизоляционные характеристики материала из супертонких базальтовых волокон представлены в табл. 3.

Таблица 3

Звукоизоляционные характеристики материала из супертонких базальтовых волокон

Плотность материала – ρ = 15 кг/м^3. Толщина материала – 30 мм. Величина зазора между материалом и изолирующей стенкой – 0 мм			
Диапазон частот, Гц	100–300	400–900	1200–1700
Нормальный коэффициент звукопоглощения	0,05–0,15	0,22–0,75	0,85–0,93

Проведенный предварительный расчет снижения шума на рабочем месте оператора при использовании предлагаемых мероприятий показал невозможность достичь требований санитарных норм.

Результаты экспериментальных данных шумового загрязнения не соответствует ожидаемым требованиям. Проведение комплекса мероприятий позволил снизать уровень шума на 8–10 дБ, что не является безопасным значением. Для более серьезного снижения уровня шума необходимо прибегнуть к установке дистанционной системы управления, провести герметизацию оборудования. [10].

Предложение авторов заключается также в установке шумозащитных конструкций и ограждении участков с наиболее интенсивным шумом. Это поможет сформировать звуковую защиту и значительно увеличить диссипацию [11].

Рекомендованные меры не позволяют достичь нормативных значений шумовых характеристик. Так как внесение изменений в конструкцию дробеструйной камеры является технически нереализуемым, то рассматривается применение средства индивидуальной защиты — шлема с наушниками [12].

Авторы предлагают комплексные рекомендации по снижению уровня пыли и шума на рабочем месте оператора, что позволит последовательно решить задачу создания безопасных условий на производстве [12].

Выводы. Описан комплексный анализ влияния шума на работников литейных цехов и изучены пути оптимизации условий труда операторов установок дробеструйной шлифовки:

1. Определены неблагополучные участки с наибольшим уровнем шумового загрязнения — участки выбивных решеток и дробеструйной очистки.

2. Гранулометрический анализ образцов показал, что пыль размером менее 100 мкм составляет 90 % ее общего объема.

3. Установлено, что на участках дробеструйной обработки литейного производства наблюдается превышение нормативных значений уровня шума на 4–18 дБ.

4. Предложено техническое решение по снижению уровня шума для штатной дробеструйной камеры — нанесение на ее внутреннюю поверхность двухслойного покрытия, состоящего из вибродемпфирующего материала, представляющего собой слой приклеенной резины толщиной 10 мм и звукопоглощающего материала из супертонких базальтовых волокон, выполненных по плоской схеме (полотно), что не обеспечивает нормативных значений уровня шума, но дает значительное его снижение.

Библиографический список

1. Пачурин, Г. В. Влияние комплексного воздействия вредных факторов литейного производства на уровень профессионального риска / Г. В. Пачурин, А. А. Филиппов // XXI век. Техносферная безопасность. — 2017. — № 2 (6) — С. 10–17.

2. Орехова, А. И. Экологические проблемы литейного производства / А. И. Орехова // Экология производства. — 2005. — № 1. — С. 2–3.

3. Лазаренков, А. М. Оценка влияния шума на работающих в литейном производстве / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева, В. В. Мельниченко // Литье и металлургия. — 2011. — № 3S (62). — С. 194–195.

4. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах : СанПиН 2.2.4.3359-16 : [утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 21 июня 2016 года № 81] / Гарант : [сайт]. — URL: https://base.garant.ru/71462000/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/ (дата обращения : 06.04.2022).

5. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки : Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 : [утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 года № 36] / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов // docs.cntd.ru : [сайт]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/901703278 (дата обращения : 06.04.2022).

6. Капустянский, А. М. Методы снижения шума при проектировании и эксплуатации дробеструйных и пескоструйных установок : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. М. Капустянский. — Ростов-на-Дону, 2001. — 18 с.

7. Новиков, В. П. Автоматизация литейного производства : в 2 ч. / В. П. Новиков. — Ч. 1. Управление литейными процессами. — Москва : МГИУ, 2006. — 292 с.

8. Соловьева, О. С. Защита жилой застройки от шума стройплощадок / О. С. Соловьева, Ю. И. Элькин // NOISE Theory and Practice. — 2020. — Т. 6, № 3. — С. 7–15.

9. Дроздова, Л. Ф. Обзор современных компрессорных установок и материалов для снижения их шума / Л. Ф. Дроздова, Е. Ю. Чеботарева, А. В. Кудаев // NOISE Theory and Practice. — 2018. — Т. 4, № 2. — С. 11–20.

10. Ершов, М. Ю. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы / М. Ю. Ершов, Ю. А. Сорокин, А. П. Трухов ; под ред. А. П. Трухова. — Москва : Академия, 2005. — 524 с.

11. Анализ влияния шума на операторов в литейном цехе / Л. Ф. Дроздова, В. Я. Манохин, Е. И. Головина, М. В. Манохин // Noise Theory and Practice. — 2021. — Т. 7, № 4 (26). — С. 19–25.

12. Сальникова, Л. А. Анализ влияния шума и запыленности на железобетонном производстве / Л. А. Сальникова, Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. — 2022. — № 1 (26). — С. 48–50.

Поступила в редакцию 13.04.2021
Поступила после рецензирования 23.05.2022
Принята к публикации 23.05.2022

Об авторах:

Манохин Вячеслав Яковлевич, профессор кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), доктор технических наук, профессор, ORCID, manohinprof@mail.ru.

Дроздова Людмила Филипповна, профессор кафедры «Экология и производственная безопасность» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, 1), кандидат технических наук, ORCID.

Головина Елена Ивановна, заместитель декана по учебной работе факультета инженерных систем и сооружений, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), ORCID, u00111@vgasu.vrn.ru.

Соколов Дмитрий Алексеевич, студент факультета инженерных систем и сооружений Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), ORCID, dmitriysokolov598@gmail.com.

Заявленный вклад соавторов:

В. Я. Манохин — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования; Л. Д. Дроздова — анализ результатов исследований, формирование выводов; Е. И. Головина — проведение эксперимента, анализ результатов исследований, формирование выводов; Д. А. Соколов — подготовка и оформление текста статьи, работа с литературой.